

В. А. Крюков^{а)}, А. О. Баранов^{б)}, В. Н. Павлов^{в)}, В. И. Суслов^{з)}, Н. И. Суслов^{д)}^{а, б, в, г)} Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, Новосибирск, Российская Федерация^{б, д)} Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Российская Федерация^{д)} Новосибирский государственный технический университет Новосибирск, Российская Федерация^{а)} <https://orcid.org/0000-0002-7315-6044>^{б)} <http://orcid.org/0000-0001-8597-9788>, e-mail: baranov@ieie.nsc.ru^{в)} <http://orcid.org/0000-0003-3333-4712>^{д)} <http://orcid.org/0000-0001-8899-7906>

Проблемы развития единого комплекса средств макроэкономического межрегионального межотраслевого анализа и прогнозирования¹

Целями исследования являются анализ подходов к макроэкономическому и макротерриториальному моделированию в мировой и российской экономической литературе, а также формулирование направлений совершенствования прогнозирования развития экономических систем в России на макроуровне, межотраслевом и межрегиональных уровнях. Описан опыт построения динамических макроэкономических, межотраслевых и межрегиональных моделей в Институте экономики и организации промышленного производства СО РАН. Анализируются особенности трех модельных комплексов ИЭОПП СО РАН: КАМИН (комплексный анализ межотраслевой информации), СИРЕНА (синтез региональных и народнохозяйственных систем) и СОНАР (согласование отраслевых и народнохозяйственных решений). Результатом работы являются описание теоретических основ построения этих комплексов, а также краткая характеристика возможности их использования в анализе и прогнозировании развития экономических систем различного уровня. В статье показаны основные отличия базовых моделей, составляющих основу данных систем. Дана характеристика работ по развитию всех трех модельных комплексов. Приводится краткая характеристика разрабатываемой в ИЭОПП СО РАН двухуровневой системы моделей макроэкономического прогнозирования, сочетающей преимущества динамических стохастических моделей общего равновесия и динамических межотраслевых моделей, включенных в систему КАМИН. Кратко описаны теоретические основы системы СИРЕНА, последние версии которой базируются на постулатах теории общего экономического равновесия и теории кооперативных игр. Далее приводится характеристика наиболее развитых элементов модельного комплекса СОНАР — подсистемы СОНАР-ТЭК, используемой для прогнозирования развития топливно-энергетического комплекса России в территориальном разрезе и комплекса СИБАРП (система балансовых расчетов на перспективу). Кратко описаны направления дальнейших исследований по совершенствованию методов макроэкономического межрегионального межотраслевого прогнозирования на основе гармонизации аналитических и прогнозных расчетов, выполняемых с использованием комплексов КАМИН, СИРЕНА и СОНАР. Результаты прогнозных расчетов с использованием двухуровневой системы моделей макроуровня планируется использовать в модельных комплексах СИРЕНА и СОНАР, что обеспечит согласованность прогнозов социально-экономического развития азиатской части России с перспективной динамикой макропоказателей.

Ключевые слова: макроэкономический межрегиональный межотраслевой анализ и прогнозирование, динамические межотраслевые модели, динамические стохастические модели общего экономического равновесия, азиатская часть России

Благодарность

Статья подготовлена в рамках выполнения гранта, предоставленного в форме субсидий на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития, проект «Социально-экономическое развитие Азиатской России на основе синергии транс-

¹ © Крюков В. А., Баранов А. О., Павлов В. Н., Суслов В. И., Суслов Н. И. Текст. 2020.

портной доступности, системных знаний о природно-ресурсном потенциале, расширяющегося пространства межрегиональных взаимодействий», Номер соглашения с Минобрнауки № 075–15–2020–804 (внутренний номер гранта № 13.1902.21.0016).

Для цитирования: Крюков В. А., Баранов А. О., Павлов В. Н., Суслов В. И., Суслов Н. И. Проблемы развития единого комплекса средств макроэкономического межрегионального межотраслевого анализа и прогнозирования // Экономика региона. 2020. Т.16, вып. 4. С. 1072–1086. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2020-4-5>

REVIEW PAPER

Valery A. Kryukov^{a)}, Alexandr O. Baranov^{b)}, Victor N. Pavlov^{c)}, Victor I. Suslov^{d)}, Nikita I. Suslov^{e)}

^{a, b, c, d, e)} Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Russian Federation

^{b, e)} Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

^{e)} Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

^{a)} <https://orcid.org/0000-0002-7315-6044>

^{b)} <http://orcid.org/0000-0001-8597-9788>, e-mail: baranov@ieie.nsc.ru

^{c)} <http://orcid.org/0000-0003-3333-4712>

^{e)} <http://orcid.org/0000-0001-8899-7906>

Problems in Developing a Comprehensive Toolkit for Macro-economic, Inter-regional, Inter-sectoral Analysis and Forecasting

The study reviews approaches to macro-economic and macro-territorial modelling presented in international and Russian economic publications. We focus on opportunities to improve forecasting the development of economic system in Russia at the macro-economic, inter-sectoral and inter-regional levels. We described dynamic macro-economic, inter-sectoral and inter-regional models developed in the Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IEIE SB RAS). We analyse more in details three complex models proposed in IEIE SB RAS: CAISI (comprehensive analysis of inter-sectoral information), SRNES (synthesis of regional and national economic systems) and CSNES (coordination of sectoral and national economic solutions). We consider theoretical foundations of the complex models and their application in analysing and forecasting economic system development at various levels. The three complex models are based on different basic models that influence their development. IEIE SB RAS has been developing a two-level system of forecasting models, which combines advantages of dynamic stochastic general equilibrium models and dynamic input-output models applied in the CAISI system. The paper describes theoretical foundations of the SRNES system, whose latest versions are premised on the general equilibrium and cooperative games theories. Then, we characterised the most developed elements of the complex model CSNES, which has the CSNES-TEK subsystem used in forecasting developments in the fuel and energy industry of Russia's territories and SIBARP (balance calculation system for the future). The conclusion outlines directions for further research on improving the methods of macro-economic, inter-regional, and inter-sectoral forecasting based on harmonisation of analytical and forecast calculations performed using the CAISI, SRNES and CSNES systems. The results of forecast calculations using the two-level system of macro-level models can be applied in the complex models SRNES and CSNES to ensure coordination between the forecasts of socio-economic development of the Asian part of Russia and projected dynamics of macro-indicators.

Keywords: macro-economic inter-regional inter-sectoral analysis and forecasting, dynamic input-output models, dynamic stochastic general equilibrium models, Asian part of Russia

Acknowledgements

The article has been prepared with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, the grant for conducting large scientific projects in priority areas of scientific and technological development No. 075–15–2020–804 (No. 13.1902.21.0016) «Socioeconomic Development of the Asian Russia Based on Synergy of Transport Accessibility, Systemic Knowledge of Natural Resources Potential, Expanding International Cooperation Domain».

For citation: Kryukov, V. A., Baranov, A. O., Pavlov, V. N., Suslov, V. I. & Suslov, N. I. (2020), Problems in Developing a Comprehensive Toolkit for Macro-economic, Inter-regional, Inter-sectoral Analysis and Forecasting, *Ekonomika regiona* [Economy of region], 16(4), 1072–1086, <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2020-4-5>

1. Введение. Подходы к макроэкономическому и макротерриториальному моделированию и анализу

Метод межотраслевого баланса, а также первые структурно-межотраслевые модели были разработаны американским экономистом В. Леонтьевым [1]. Данный метод исследова-

ния получил дальнейшее развитие и широко используется в мировой практике. Его современным направлением стало применение методологии межотраслевого баланса как структурных моделей, которые дополняются блоками эконометрических конструкций. Такой подход, предложенный первоначально другим американским экономистом — К. Алмоном

[2], и развитый далее в Мэрилендском университете США и других организациях за рубежом (порядка 40 стран), получил название «Инфорум» (INFORUM).

В ИНП РАН разработана система моделей [3], в том числе — РИМ [4] (русская имитационная модель, относящаяся к классу упомянутого выше международного проекта INFORUM), CONTO, включающая в себя непосредственно межотраслевую модель, ценовую модель, модель энергетического баланса, модель консолидированного бюджета, а также ряд моделей натуральных балансов по ключевым первичным ресурсам.

В целом указанные модели составляют комплекс инструментов долгосрочного прогнозирования экономики на базе межотраслевых балансовых расчетов, а также систему моделей формирования и согласования сценарных условий в рамках долгосрочного экономического прогнозирования.

За рубежом исследования в области построения межрегиональных межотраслевых балансовых моделей начались в 1950-х гг. в США. В [5] была разработана наиболее фундаментальная межотраслевая балансовая модель — *Inter-regional Input-Output (IRIO) Model*. Она основывалась на Межрегиональных таблицах «затраты — выпуск» (*Interregional Input-Output Tables*) и предполагала наличие статистических данных о взаимных поставках продукции между всеми выделяемыми секторами и регионами. Высокая требовательность указанного подхода к наличию статистической информации предопределила ограниченность его практического применения, хотя он остается важнейшим теоретическим инструментом и основой для других подходов.

Ответом на данный вызов явилось появление другого важнейшего подхода, называемого *Multiregional Input-Output approach (MRIO)* и развитого практически одновременно в Европе [6] и США [7]. Он основывается на Межрегиональных таблицах «затраты — выпуск», существенно более доступных в статистических системах стран-разработчиков, чем Межрегиональные таблицы «затраты — выпуск». Дополнительно данный подход требует привлечения информации об общих объемах ввоза и использования продукции всех секторов во всех регионах, однако без разбивки по секторам-реципиентам.

Описанный подход *MRIO* остается наиболее популярным в мире и в настоящее время. В данное время подход *MRIO* применяется для анализа регионального роста и межрегио-

нальных взаимодействий [8–12]. Важнейшим направлением применения моделей *MRIO* является также исследование последствий реализации и эффективности региональных проектов [13–14].

В ИЭОПП СО РАН начиная с 1960-х гг. развивается особый подход к моделированию и анализу межрегиональных межсекторальных проблем, получивший воплощение в моделях А. Гранберга [15]. Принятая аббревиатура их названия — ОМММ: оптимизационные межрегиональные (многорегиональные) межотраслевые модели. За последние более чем полвека они многократно модифицировались, изменялись способы и алгоритмы их применения и в теоретическом, и в прикладном анализе. Но суть их оставалась неизменной: региональные межотраслевые блоки, дополненные различными условиями и ограничениями, объединялись способами транспортно-экономических связей и условиями выравнивания региональных уровней жизни населения. Включаемые в них всякого рода нелинейности имели выпуклый характер, что позволяло сводить их в линейно программные конструкции.

2. ИЭОПП: опыт макроэкономического и макротерриториального моделирования и анализа

В настоящее время в ИЭОПП СО РАН разработаны и используются в анализе и прогнозировании три модельных комплекса, достаточно тесно связанных между собой, но предназначенных для моделирования и анализа экономических проблем разной направленности.

Первый из них — проект КАМИН (комплексный анализ межотраслевой информации), который применяется для прогнозирования динамики макро и отраслевых показателей без дифференциации экономики на регионы. В настоящее время ведутся работы включению комплекса КАМИН в систему динамических макромоделей, позволяющих прогнозировать экономическую динамику на макроуровне в краткосрочном и долгосрочном плане.

Другой комплекс получил название СИРЕНА (синтез региональных и народнохозяйственных систем) и широко используется в анализе территориальных пропорций. Он основан на моделях типа ОМММ. Такие модели разрабатываются для различных временных периодов, территориальных сеток и секторальных структур и фокусируются на анализе межрегиональных и региональных проблем, а также

используются для получения прогнозов развития экономики России в территориальном разрезе [15].

Третий модельный комплекс СОНАР (согласование отраслевых и народнохозяйственных решений) оформился на базе обширных разработок в области моделирования отраслевых систем — главным образом, базовых промышленных многоотраслевых комплексов — и включает в себя отдельные «отраслевые» ветви.

Все три проекта — КАМИН, СИРЕНА и СОНАР — строятся на базе общей статистической и методологической базы и могут взаимодействовать, дополняя друг друга. Однако их основное применение имеет достаточно высокую степень автономии.

2.1. Построение двухуровневой системы моделей макроэкономического прогнозирования и перспективы ее использования и развития

В разработанных к настоящему времени инструментах прогнозирования экономики на макро- межотраслевом и региональном уровнях недостаточно адекватно отражается целый ряд факторов. Это оказывает заметное негативное влияние на качество разрабатываемых прогнозов. Такое положение дел объясняется двумя обстоятельствами.

1. Недостаточно полное отображение в инструментах прогнозирования некоторых важнейших факторов, определяющих экономическую динамику, и недостаточно адекватное моделирование взаимодействия этих факторов. Например, упрощенное модельное представление влияния человеческого капитала на макроэкономическую динамику, неполное отображение влияния ожиданий и поведения экономических агентов на развитие экономической системы.

2. Ограниченные возможности инструментария оценки учета неопределенности динамики макроэкономических и отраслевых показателей. В большинстве случаев неопределенность учитывается посредством представления прогнозных показателей в виде нескольких вариантов развития национальной экономики, экономики региона или отрасли. При этом за кадром часто остаются оценка надежности выполненных прогнозов и оценка устойчивости эндогенных показателей по отношению к вариации экзогенных параметров.

Это обуславливает необходимость дальнейших исследований с целью развития инструментов макроэкономического, многоотрасле-

вого и регионального анализа и прогнозирования в направлении более адекватного отображения комплексного влияния различных элементов экономической системы на ее динамику в сочетании с более полным учетом факторов неопределенности, «размывающих» траекторию макро- и отраслевых показателей при оценке их перспективной динамики.

В ИЭОПП СО РАН развитие исследований по моделированию экономики на макроуровне проводится по следующим направлениям:

1. Синтез динамических стохастических моделей общего экономического равновесия и динамических многоотраслевых моделей — разработка двухуровневой системы моделей прогнозирования национальной экономики, включающей динамическую стохастическую модель общего экономического равновесия (DSGE модель — верхний уровень), динамическую межотраслевую модель (ДММ) с включением блока человеческого капитала [16] и общеравновесную многоотраслевую эконометрическую динамическую модель [17] (второй уровень).

2. Разработка динамической стохастической модели общего экономического равновесия (DSGE) с выделением топливно-энергетического сектора экономики России, отличие которой по от разработанных ранее DSGE моделями экономики России состоит в том, что в ней учитывается ограниченная рациональность при формировании ожиданий и неоднородность различных групп экономических агентов с точки зрения ожиданий [18], она увязывается с многоотраслевыми моделями нижнего уровня через общую информационную базу и алгоритмы согласования решений.

3. Совершенствование динамической межотраслевой модели (ДММ) экономики России с включением блока воспроизводства человеческого капитала в направлении более адекватного отображения его воздействия на показатели эффективности экономики на макро- и отраслевом уровнях и отображения влияния окружающей среды на формирование человеческого капитала.

4. Разработка алгоритмов согласования прогнозных расчетов с использованием равновесной межотраслевой модели и DSGE-модели с расчетами по ДММ и различных блоков, входящих в систему КАМИН.

Система комплексного анализа межотраслевой информации является наиболее проработанным элементом предлагаемой двухуровневой системы моделей. Поэтому кратко ее охарактеризуем.

В качестве отправной точки построения системы была использована динамическая межотраслевая модель, разработанная Н.Ф. Шатиловым [19], которая была модифицирована в направлении отображения строительного лага в воспроизводстве основного капитала. Затем система была дополнена целым рядом блоков и предназначена для исследования процессов воспроизводства на макро- или региональном уровнях с использованием точечных динамических межотраслевых моделей.

В систему КАМИН включены следующие подсистемы:

- динамические межотраслевые модели;
- модель финансового баланса;
- модель бюджетного блока;
- модель экологического блока;
- монетарный блок;
- блок воспроизводства человеческого капитала.

Система КАМИН содержит следующие межотраслевые модели, реализованные в виде подсистем:

1) динамическая межотраслевая модель в сопоставимых ценах с оператором фондообразования, учитывающим распределенный строительный лаг создания основных фондов (ДММ-КАМИН);

2) межотраслевая модель формирования произведенного валового выпуска каждого года прогнозного периода в текущих ценах в зависимости от динамики стоимостных нормативов в отраслях, характеризующих процесс производства (доли заработной платы и прибыли в валовом выпуске отраслей, нормативы амортизации по каждому виду фондов в отраслях, нормативы налогов на производство и импорт в валовом выпуске отраслей и др.). В сочетании с моделью с учетом строительного лага она позволяет определить динамику отраслевых индексов цен в исследуемом периоде как функцию от заданной динамики стоимостных нормативов.

В последние годы система КАМИН была модернизирована в направлении использования в прогнозировании техники нечетких множеств, когда входные и выходные параметры модели представляются в виде нечетко описываемых величин (система КАМИН-ФА3ЗИ). Это позволило рассчитывать такие показатели, как устойчивость эндогенных переменных по отношению к «раскачке» экзогенных параметров, а также оценивать надежность полученных с использованием ДММ прогнозных показателей.

В предлагаемой двухуровневой системе моделей сочетаются преимущества динамических стохастических моделей общего равновесия (моделирование поведения экономических агентов), динамических межотраслевых моделей (учет межотраслевых связей и изменения технологий через первый квадрант межотраслевого баланса) и отображение факторов неопределенности через использование аппарата нечетких множеств.

Необходимо сказать, что все эти факторы по отдельности отображаются в разработанном в России и за рубежом модельном аппарате. Отметим работы группы «Инфорум» в США [2], а также модели, разработанные в Институте народнохозяйственного прогнозирования РАН [3, 4]. В журнале *Economic Systems Research* опубликован ряд работ, связанных с применением инструментария нечетких множеств в межотраслевых моделях. В том числе работа [20], где для решения проблем, возникающих из-за неопределенности в значениях мультипликаторов, используется межотраслевая модель с нечеткими множествами.

Многочисленные исследования в настоящее время посвящены вопросам разработки и практического применения широкого перечня вычислимых моделей общего равновесия, описание которых восходит к работам Лива Йохансена [21], а также более поздним статьям Финна Кидланда и Эдварда Прескотта [22], в которых предложено в явном виде вводить в общеравновесные модели функции, описывающие предпочтения и производственные технологии. Вычислимые модели общего равновесия выступают быстро развивающейся альтернативой стандартным макроэконометрическим моделям, так как они, в отличие от последних, не подвержены критике Лукаса. Ключевым преимуществом вычислимых моделей общего равновесия выступает нацеленность на моделирование поведения экономических субъектов и оценка последствий экономических шоков на основе задаваемых целевых функций и бюджетных ограничений для экономических субъектов. Необходимо отметить широкую дискуссию относительно адекватности применения для целей прогнозирования как макроэконометрического подхода (например, критика Лукаса [23]), так и подхода, основанного на вычислимых моделях общего равновесия (например, критика М. Грассини [24]). Учитывая данную дискуссию, в настоящем проекте развиваются оба данных подхода с целью их взаимоувязки, определения эффективных сфер приложения и оценки

степени их адекватности для целей прогнозирования и моделирования экономики России.

Новизна предлагаемого нами направления исследований состоит в попытке получения синергетического эффекта от использования преимуществ всех перечисленных подходов при моделировании экономики на макроуровне. Разработанная система моделей может быть использована в практических целях при построении прогнозов социально-экономического развития России на среднесрочную и долгосрочную перспективу.

Краткосрочная динамика основных макроэкономических показателей (ВВП, инвестиций в основной капитал, основного капитала, занятости др.) с поквартальным шагом определяется с использованием DSGE-модели на период от 8 до 12 кварталов. В этих результатах, в частности, может быть учтено влияние внешних шоков на динамику прогнозных показателей (падение цен на энергоносители и др.). Эти данные передаются как входные параметры для расчетов по общеравновесной многоотраслевой динамической модели, учитывающей влияние различных вариантов экономической политики и внешних шоков на динамику производства не только на макроуровне, но и на отраслевом уровне. Выполняется краткосрочный прогноз отраслевых и макропоказателей с поквартальным шагом на период 8–12 кварталов. Агрегированные по годам результаты расчетов по DSGE-модели и общеравновесной многоотраслевой модели передаются как входные параметры для расчетов по ДММ-КАМИН. Прогноз с использованием ДММ-КАМИН с годовым шагом выполняется на среднесрочный период (4–5 лет) или долгосрочный период (15–30 лет) с учетом результатов прогнозирования по DSGE-модели и по общеравновесной многоотраслевой модели для первых лет прогнозного периода.

Одним из ключевых составных элементов модельных комплексов СОНАР И СИРЕНА является оптимизационная межотраслевая межрегиональная модель (ОМММ). В связи с этим кратко охарактеризуем основные отличия ОМММ и ДММ-КАМИН.

1. Фундаментальное отличие состоит в том, что ОМММ обеспечивает прогнозирование экономики в региональном разрезе, а ДММ-КАМИН — лишь на уровне национальной экономики в целом.

2. В ДММ-КАМИН наряду с моделированием производства осуществляется моделирование основных фондов, увязанное с динамикой валового выпуска фондосоздающих отрас-

лей. Основные фонды моделируются с учетом инвестиционного лага. В ОМММ осуществляется моделирование инвестиций в основной капитал и не моделируются основные фонды.

3. В отличие от ОМММ, в ДММ-КАМИН моделируется воспроизводство человеческого капитала и инвестиций в него. Перечисленные выше отличия предопределяют специализацию в применении ДММ-КАМИН и ОМММ. Первая используется для прогнозирования макро- и отраслевой динамики на макроуровне, а ОМММ дополняет этот прогноз моделированием экономики России с разбиением по регионам.

2.2. Система СИРЕНА и ее использование в анализе и прогнозировании социально-экономического развития экономики в пространственном разрезе

Система (модельно-методический комплекс) СИРЕНА¹ как направление экономико-математических исследований организационно-методически оформилась к началу 1980-х гг. В его основе лежал комплекс математических моделей, построенных на единых принципах отражения отраслевой структуры, экономической динамики и территориальной связанности. Предполагалось, что он будет включать четыре уровня: точечная народнохозяйственная модель, основная пространственная модель (центральная ОМММ), специализированные пространственные модели с детализированными региональными блоками и специализированные региональные модели. В настоящее время в прикладных исследованиях используются модели только первых двух уровней. Ведутся и планируются экспериментальные расчеты со специализированными пространственными моделями (например, с делением Сибирского федерального округа на субъекты Федерации, с выделением из восточных макрорегионов арктической зоны). Разрабатываемые и используемые специализированные региональные модельно-расчетные комплексы (ЗСНГК — Западно-Сибирский нефтегазовый комплекс, КАТЭК — Канско-Ачинский топливно-энергетический комплекс, зона БАМ — Байкало-Амурской магистрали, Нижнее Приангарье и некоторые другие) лишь формально входят в проект СИРЕНА, взаимно согласованных расчетов не проводилось.

¹ Аббревиатура основана от первых слогов слов «синтез региональных и народнохозяйственных» (решений (моделей)).

В пространственные модели комплекса введены дополнительные элементы нелинейности:

— возрастающая капиталоемкость прироста производства, то есть кривая зависимости объема инвестиций от прироста производства выпукла вниз, что обусловлено ограниченностью «хороших» инвестпроектов;

— зависимость цен мирового рынка от объемов российского экспорта и импорта, обусловленная значительными размерами экономики России, заметная на мировом фоне: мировые цены на экспортируемую продукцию падают, а на импортируемую — растут; кроме того, параметры этих зависимостей позволяют управлять в численных экспериментах степенью открытости экономики.

В результате парето-границы множеств допустимых состояний в пространстве целевых показателей регионов становятся более реалистичными и начинают представлять широкие области реально достижимых состояний многорегиональной экономики, а конструирование конкретного сценария развития начинает достигаться настройкой сравнительно небольшого количества параметров, а не значительным изменением многих сотен границ на отдельные переменные.

С организационно-методической точки зрения проект включает, кроме самого модельного комплекса, базы накопленных данных и систему их управления, коллективы исследователей, работающие с этим комплексом, и набор компетенций, которые приобрели эти исследователи в процессе своей многолетней работы.

Использование точечной народнохозяйственной и основной пространственной модели в процессе построения сценариев социально-экономического развития страны происходит в режиме так называемого мягкого согласования, без строгих алгоритмических «переходов» от одной модели к другой типа, например, «агрегирование — дезагрегирование». Задача расчетов по точечной модели заключается в получении вариантов социально-экономического и научно-технологического развития, соответствующих, например, установкам Минэкономразвития, директивам государственных документов стратегического характера или сценарным условиям, сформированным с какими-то исследовательскими целями. Результатом согласования («мягкого») с пространственной моделью является взаимное соответствие сценарных условий и итоговых макропоказателей. При этом перед простран-

ственной моделью не ставится задача строгого агрегирования точечного плана по территории, так как пространственный фактор может и должен влиять на макродинамику.

За прошедшие полвека коренным образом изменился «идеологический» фундамент проекта. В 1960–1970-е гг. система или комплекс моделей рассматривались как средство получения решения некоторой мегамодели — для построения детального народнохозяйственного плана развития страны, который будет «спущен» вниз конкретным исполнителям, то есть как средство преодоления ограниченности вычислительных возможностей. Теперь эти ограничения сняты, да и детальные централизованные планы никому не нужны. На первый план вышли другие ограничения: информационные (качество статистики совсем не соответствует современным требованиям) и интеллектуальные (человек не в состоянии осмыслить огромные массивы информации — как входной, так и выходной, поэтому чрезвычайно актуально развитие методов Big Data и Data Science). Модельно-методический комплекс проекта нужен теперь для того, чтобы выстроить совокупность возможных вариантов сценариев будущего развития, определить условия, при которых эти варианты могут состояться, и принять правильные решения сейчас — в настоящем.

Кроме построения сценариев развития экономики страны в пространственном разрезе модельный комплекс используется в анализе межрегиональных экономических отношений [25]. В этом анализе используются положения таких разделов математической экономики, как теория экономического равновесия и теория кооперативных игр. Речь идет о равновесии Вальраса на обычном товарно-денежном рынке и эквивалентном межрегиональном обмене, а также о равновесии Нэша, или так называемом ядре системы в контрактном рынке и взаимовыгодном межрегиональном обмене.

Рыночные отношения, по Вальрасу, выглядят следующим образом. Каждый регион — в данном случае субъект рынка — определяет вывоз и ввоз, экспорт и импорт продукции, то есть свой спрос и предложение, максимизируя свой целевой показатель при заданном ограничении торгового баланса в текущих ценах обмена. При этом он совершенно «эгоистичен» и не заботится о достижении каких-то общих целей. Далее все эти региональные «хотелки» сталкиваются на общесистемном рынке и срабатывает закон спроса и предложения: цена обмена растет, если совокупный спрос

(ввоз и импорт) оказался больше совокупного предложения (вывоз и экспорт), или уменьшается — в обратной ситуации. Цены изменились, в соответствии с ними регионы скорректировали свои планы-«хотелки», и происходит следующая итерация коррекции цен на общем системном рынке. Этот процесс, как правило, сходится. В прикладных расчетах такой рыночный механизм не имитируется, а используется гораздо более эффективный алгоритм, приводящий к результату за 3–4 итерации. В прикладных расчетах более одного равновесия найти не удавалось.

Особый интерес в анализе вальрасовских равновесий представляют равновесия с нулевым сальдо региональных торговых балансов. Это состояния эквивалентного межрегионального обмена.

Основным элементом рыночного процесса, по Нэшу, является договор, контракт, соглашение. В этом процессе регионы заключают между собой соглашения — вступают в коалиции. Коалиция — это выделившаяся из общей системы совокупность регионов (не обязательно территориально связанная), свободно обменивающихся между собой, с экзогенными (закрытая коалиция) или эндогенными (открытая коалиция) внешними связями. Регионы, опять же, полностью «эгоистичны» и меняют своих партнеров, если обнаружат более выгодную для себя коалицию. В равновесии по Нэшу коалиции перестают меняться. И остается только одна коалиция — полная система. То есть в равновесии взаимодействуют все регионы системы, и любая их коалиция, выделившись из системы, проиграет. Совокупность таких равновесий образует подмножество парето-границы (не обязательно связанное) весьма замысловатой конфигурации, называемое ядром экономической системы — область взаимовыгодного межрегионального обмена.

В анализе ядра системы используется так называемый коалиционный анализ, в котором проводятся расчеты по всем возможным коалициям регионов. Расчеты проводятся по выбранным направлениям изменения территориальной структуры общего целевого показателя (из точки вальрасовского равновесия эквивалентного обмена, которая обязательно лежит внутри нэшевского ядра): по каждому из них определяются границы (верхняя и нижняя), на которых появляются блокирующие коалиции с более высокими целевыми показателями, чем в общей (полной) системе регионов. Графически на парето-границе эти точки очерчивают область ядра.

Коалиционный анализ применяется также для определения так называемых эффектов межрегионального взаимодействия. В совокупности они образуют шахматную таблицу, в подлежащем которой приведены регионы-доноры, а в сказуемом — регионы-реципиенты. Элемент такой таблицы (эффект межрегионального взаимодействия) показывает, какая часть целевого показателя региона-реципиента обеспечена взаимодействием с регионом-донором. Они рассчитываются следующим образом. В некоторую коалицию регионов, включающую регион-реципиент, добавляется регион-донор. В результате целевые показатели регионов исходной коалиции, включая регион-реципиент, изменятся, скорее всего — вырастут. Это изменение будет одной из оценок эффекта взаимодействия. Число таких коалиций будет равно числу коалиций регионов, включающих регион-реципиент и не включающих регион-донор. Среднее этих оценок принимается за эффект региона-реципиента, полученный от взаимодействия с регионом-донором (для характеристики ошибки измерения полезно посчитать среднеквадратическое отклонение).

Проведенные исследования позволили интегрировать некоторые положения классической теории экономического равновесия и кооперативных игр в формируемую теорию межрегиональных экономических отношений и сформулировать несколько утверждений.

1. В системе межрегиональных торговых-транспортных отношений существует по крайней мере одно (при расчетах по большим прикладным моделям всегда одно) состояние эквивалентного обмена, в котором сальдо межрегионального обмена в равновесных (по Вальрасу) ценах равно нулю для каждого региона.

2. Это состояние не блокируется ни одной коалицией (подмножеством) регионов, то есть любая коалиция, выделившись из полной системы, проиграет в целевых показателях.

3. Множество всех состояний, не блокируемых ни одной коалицией регионов, — часть общесистемной парето-границы, называемая ядром системы, равновесием по Нэшу, достаточно велика и имеет сложную конфигурацию (может быть даже не связанной). Это — область взаимовыгодного обмена.

Эти утверждения справедливы для закрытой экономики (с экзогенными внешними связями).

В открытой экономике с эндогенными внешнеэкономическими связями (фиксированы товарные курсы (отношения внешних цен в долларах к внутренним рублевым) и сальдо внеш-

неторгового бюджета, принимаемого обычно нулевым) все три только что приведенные «классические» утверждения перестают выполняться (их справедливость не подтверждается результатами многочисленных расчетов):

- не существует ни одного состояния в точности эквивалентного обмена, то есть в котором сальдо межрегионального обмена в равновесных ценах было бы равно нулю для всех регионов; для каждого состояния можно говорить о степени неэквивалентности, которую можно измерить максимальным по регионам значением отношения абсолютной величины сальдо межрегионального обмена к целевому показателю;

- ни одно сколь угодно близкое к эквивалентности состояние не является неблокируемым, то есть входящим в ядро системы — в равновесие Нэша;

- на общесистемной парето-границе не существует ни одного состояния, неблокируемого какими-то коалициями, то есть ядро системы вырождено, равновесия Нэша и состояний взаимовыгодного обмена не существует.

Полученные результаты подтверждают справедливость априорных (интуитивно понятных) утверждений о том, что коалиционная нестабильность (стремление к распаду системы) нарастает с увеличением открытости системы в целом и степени неэквивалентности внутрисистемного обмена. Они операционализируют соответствующие понятия и дают количественную оценку параметрам этих зависимостей.

2.3. Проект СОНАР и его использование в анализе и прогнозировании

Система моделей для анализа и прогнозирования секторов и отраслевых систем, которая получила название СОНАР, на разных стадиях своего развития включала блоки машиностроительного, химического, строительного, лесопромышленного секторов экономики, а также отраслей ТЭК. Последний блок (СОНАР-ТЭК) развивается наиболее успешно. Его архитектура предусматривает взаимодействие с двумя другими модельными комплексами ИЭОПП, которые рассмотрены выше, а также другими секторальными блоками самого комплекса моделей СОНАР [26]. В рамках такого взаимодействия происходит согласование как макроэкономических показателей российской экономики, ее регионов, так и структурных параметров. Совместная работа с комплексом СИРЕНА имела место, например, в рамках разработок по обоснованию стратегии социально-эконо-

мического прогнозирования Новосибирской области. В рамках данной работы модельный комплекс СИРЕНА продуцировал основные макроэкономические показатели регионов, по которым настраивалась центральная модель СОНАР-ТЭК. Расчеты детализировались в рамках модельного комплекса СИБАРП (система балансовых расчетов на перспективу), также входящего в систему моделей СОНАР-ТЭК. Расчеты с использованием СИБАРП, позволяют дать детальные прогнозы развития для экономики региона, которые оказываются согласованными с показателями, как по стране в целом, так и по укрупненным восточным регионам (Западной и Восточной Сибири и Дальнего Востока). В систему СИБАРП входят модели базового и прогнозных межотраслевых балансов экономики регионов (с пятилетним шагом), модели секторов экономики регионов, а также энергетические модели, позволяющие прогнозировать региональные топливно-энергетические балансы. Комплекс СИБАРП продуцирует также показатели бюджетной сферы, увязанные с блоком производства. Эконометрический анализ данных в сфере энергопотребления позволяет корректировать показатели энергоемкости секторов производства на перспективу.

Также в СОНАР-ТЭК входят энергетические модели, охватывающие несколько административных районов — это модели ТЭК Сибири и России, а также подсистемы ТЭК, например, модели производства, транспортировки и потребления угля. Они применялись для обоснования перспектив развития угольной промышленности и электроэнергетики, использовались в рамках разработки энергетической стратегии Сибири.

Исследования в рамках рассматриваемого проекта ведутся, главным образом, с модельных конструкций. К таким относятся не только упоминавшиеся выше СИБАРП и ОМММ-ТЭК, модели ТЭК и угольной промышленности, но и некоторые другие, например модели мегапроектов сетевого типа, нацеленные на анализ и прогнозирование освоения нефтегазовых территорий. Наряду с прикладными модельными конструкциями, в комплекс СОНАР-ТЭК входят и теоретические модели, призванные анализировать поведение агентов, функционирующих в сфере производства и потребления энергопродукции, решения которых зависят от конъюнктурных условий, задаваемых институциональным окружением и ценами. Теоретические выводы затем проверяются с использованием прикладных балансовых и эконометрических мо-

делей. Таким образом, в рамках СОНАР-ТЭК осуществляется обмен информации между отдельными блоками системы. По результатам расчетов с использованием моделей верхнего уровня могут рассчитываться секторальные объемы выпуска, а также цены выпусков, которые затем используются на входе в моделях поведения. Эконометрические модели поведения позволяют рассчитать ценовые эластичности по ценам энергии с учетом меняющихся институциональных условий. Эти коэффициенты затем поступают на вход ОМММ-ТЭКи СИБПРП для балансовых и оптимизационных расчетов.

Упомянутая выше модель ОМММ-ТЭК с детализированным представлением отраслей ТЭК является цементирующей конструкцией всего комплекса СОНАР ОМММ-ТЭК. Она была сконструирована в ИЭОПП в 1980-е гг. С тех пор она обновлялась несколько раз. Ее современная версия построена для двух периодов. Первый — ретроспективный — для 2008–2020 гг., второй для периода с 2021 г. по 2030 г. Это удобно как для оценки последствий реализации инвестиционных проектов, так и для прогнозов.

Наличие в ОМММ-ТЭК транспортных блоков превращает ее из обычной балансовой модели типа территориальной «затраты — выпуск» в оптимизационную конструкцию. Тогда структура модели становится более гибкой и позволяет сравнивать альтернативные технологии производства и потребления энергии непосредственно в модели. При этом, однако, возникает потребность накладывать ограничения на некоторые переменные выпуска или межрайонных перевозок.

Представление динамики в модели для каждого периода — одинаково: решение для всех эндогенных переменных дается для последнего года и задается степенной закон роста инвестиций внутри периода. Таким образом, объемы инвестиций для каждого выделяемого региона и каждого вида инвестиций определяются как для последнего года, так и в целом за период. Такое представление динамики, с одной стороны, является некоторым упрощением, но, с другой стороны, сильно облегчает как конструкцию, так и аналитические и прогнозные расчеты. Задание нелинейных связей в линейной модели предполагает их линеаризацию. В модели имеются также два типа производственных мощностей — «старых», то есть введенных до начала периода, и «новых», вводимых в рамках рассматриваемого периода. Инвестиции в первый тип мощности имеют

смысл затрат на их возмещение и поддержание в рабочем состоянии, капиталоемкости второго типа по своему смыслу близки к простейшей капиталоемкости. Целевая функция модели — максимизация потребления домашних хозяйств в задаваемой региональной и отраслевой структуре.

Региональная сетка ОМММ-ТЭК включает европейскую часть России, Уральский регион и четыре зоны азиатской России: Дальневосточный, Восточносибирский и Западно-сибирский регионы и отдельно Тюменскую область. Секторальная структура модели включает срок пять продуктовых позиций, среди которых имеются восемь энергетических: жидкое минеральное топливо (нефть и газовый конденсат), газообразное минеральное топливо (природный и попутный газ), твердое топливо, производства темных нефтепродуктов, производство светлых нефтепродуктов, производство электроэнергии и производство тепла. При этом предусматриваются способы углубленной переработки светлых нефтепродуктов с использованием темных нефтепродуктов (мазута).

В модели выделяется 6 регионов: европейская Россия, Урал, Тюменскую область, Западная Сибирь, Восточная Сибирь и Дальний Восток и 45 секторов экономики, включая 8 энергетических: сырую нефть с газовым конденсатом, природный и попутный газ, уголь и другие виды твердого топлива, темные нефтепродукты, светлые нефтепродукты, продукты. Также в номенклатуре продуктов модели специально выделяются неэнергетические, но сопряженные с производством и потреблением сектора: нефтехимия, переработка твердого топлива, бурение (разведочное и эксплуатационное), производство специального оборудования для отраслей ТЭК, трубопроводный транспорт.

Дополнительно в модели учтены некоторые особенности отраслей ТЭК, которые выделяют их среди других секторов экономики. К ним относятся удорожание вновь вводимых мощностей добычи нефти и газа по сравнению с предыдущими, различия в условиях добычи минерального топлива между различными регионами, возможность одновременного выпуска различных продуктов одними и теми же способами (нефть и попутный газ, природный газ и газовый конденсат, темные и светлые нефтепродукты, электроэнергия и тепло), специфика трубопроводного транспорта, конкуренция между различными технологиями производства элект-

троэнергии и тепла (разные энергоносители и типы установок).

Как уже отмечалось, в канонической версии ОМММ выпуск каждого вида продукции в каждом районе осуществляется двумя типами мощностей — «старыми», введенными до начала рассматриваемого периода и «новыми», теми, которые вводятся в рамках данного периода. При добыче минерального сырья, однако же, такое разделение теряет смысл, поскольку в этом случае происходит извлечение невозобновляемых ресурсов. При этом каждая дополнительная порция инвестиций затрачивается для извлечения новой порции промышленных запасов и, таким образом, является затратами на ввод новых мощностей, при этом в газодобывающей и нефтедобывающих отраслях, согласно статистическим данным, выбытие мощностей относительно выше, чем в других секторах производства. По этой причине в ОМММ-ТЭК для нефте- и газодобычи избран иной подход к моделированию воспроизводства мощностей. Показатели удельных инвестиций здесь задаются в виде нелинейных функций масштабов добычи за весь период, охватываемый моделью. Такой подход позволяет разрешить два вида задач:

- учесть удорожание мощностей по добыче, поскольку, как правило, в первую очередь вводятся более эффективные месторождения, а в процессе их эксплуатации удельные инвестиции на выпуск также возрастают;

- учесть высокие доли выбывающих мощностей в нефте- и газодобыче.

Блок воспроизводства мощностей добычи нефти и газа взаимосвязан с также входящим в ОМММ-ТЭК блоком запасов углеводородов — нефти и газа. Смысл такой взаимосвязи состоит в том, что добыча определенного количества нефти или газа означает уменьшение их промышленных запасов, что требует восполнения последних за счет прироста разведочного бурения, что, в свою очередь, увеличивает инвестиции в геологоразведку. При этом соотношение подготовленных запасов и уровней добычи, то есть кратность, задается экзогенно специальными соотношениями. За этим стоят определенные законы воспроизводства. Если окажется, что запасов по сравнению с уровнями добычи слишком много, то это будет означать замораживание средств, вложенных в геологоразведку, если слишком мало, то могут возникнуть сложности с формированием ресурсной базы добычи нефти и газа на перспективу.

Первым шагом к определению количественных характеристик сырьевых объектов является прогноз нефтегазоносности, обобщающий весь спектр результатов геологической изученности территории с последующим построением карт плотностей ресурсов и таблиц распределения запасов и ресурсов по категориям и элементам нефтегазогеологического районирования [27]. Привлечение данных по лицензированию нефтегазовых недр, инфраструктурной доступности, степени освоённости и потенциальной экономической эффективности тех или иных скоплений углеводородов позволяет выделить кластеры нефтегазодобычи и рассматривать их в качестве объекта промышленного производства на макроуровне.

Учет ресурсного потенциала углеводородов на территории азиатской России предполагает интеграцию расчетных блоков с базой данных по сложившимся и перспективным сырьевым кластерам. Нетривиальность работы с геологическими материалами обусловлена рядом факторов, таких как ограниченность доступных данных, степень их достоверности, кондиционности и информативности. Как следствие, наполнение цифровых массивов геолого-промысловыми, технологическими и стоимостными характеристиками углеводородных объектов сопровождается валидацией поступающей информации с использованием процедур автоматизированного контроля.

Для прогноза освоения перспективных сырьевых кластеров применяется разработанная в СНИИГТиМС¹ производственно-инвестиционная модель, последовательно имитирующая процессы поисков, разведки, добычи, транспортировки и сбыта полезных ископаемых [28], которая в перспективе должна занять важное место в модельном комплексе СОНАР. В качестве выходных данных модели выступают показатели динамики основных технологических параметров, денежные потоки, показатели экономической эффективности проектов, а также аналитические выводы: условия коммерческого освоения ресурсов, оптимальные сроки ввода в эксплуатацию того или иного кластера, предельные объемы добычи сырья и желательную очередность лицензирования участков недр.

Поскольку на динамику освоения природных ресурсов напрямую влияют развитие инфраструктуры исследуемых террито-

¹ Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГТиМС).

рий и объемы государственных инвестиций в добывающую отрасль, модель должна быть встроена в общую систему, а ее результат — зависеть от внешних моделируемых факторов. Результаты вычислений позволят выявить оптимальную стратегию рентабельного освоения природных ресурсов азиатской части России [29].

Сопутствующей задачей исследования является построение транспортных схем с учетом существующих и будущих центров нефтегазодобычи и направлений переработки и сбыта сырья. Основная логистика моделируемых сценариев, а также экономико-географические результаты исследования будут визуализированы с помощью современных программных средств.

Описание в модели трубопроводного транспорта отличается от представления транспорта общего вида в ОМММ выделением старой и новой пропускной способности трубопроводов в межрайонных поставках и отнесением капитальных вложений, затрачиваемых на него, непосредственно на межрайонные потоки нефти и газа. Удельные затраты капитальных вложений в межрайонный транспорт конструируются таким же образом, как и капиталоемкость производства продукции. Большие сроки службы трубопроводов предопределяют существенное различие в уровне коэффициентов капиталоемкости на старых и новых участках.

Заключение

В настоящее время в ИЭОПП СО РАН проводятся работы по гармонизации аналитических и прогнозных расчетов, выполняемых с использованием комплексов КАМИН, СИРЕНА и СОНАР.

Отличительной особенностью ДММ-КАМИН является то, что в ней прогнозируются не только ВВП, валовой выпуск на макро- и отраслевом уровне и инвестиции в основной капитал, но также и динамика основных фондов и человеческого капитала и инвестиций в него. Помимо этого, ДММ-КАМИН используется для прогнозных расчетов не только в детерминистской постановке, но и с использованием аппарата нечетких множеств, позволяющего получить оценку надежности прогноза и устойчивости эндогенных показателей по отношению к вариации входных параметров.

Результаты прогнозных расчетов с использованием двухуровневой системы моделей макроуровня планируется использовать в модельных комплексах СИРЕНА и СОНАР, что обеспечит согласованность прогнозов социально-экономического развития Азиатской России с перспективной динамикой макропоказателей. В случае необходимости результаты прогнозных расчетов на макроуровне корректируются с учетом прогнозов, выполненных с применением упомянутых модельных комплексов.

Список источников

1. Леонтьев В. В. Исследование структуры американской экономики. М.: Госстатиздат, 1958. 534 с.
2. Алмон К. Искусство экономического моделирования / Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН; Отв. ред. Узиков М. Н.; общ. ред. и пер. с англ. Сапов Г. Г., Серебряков Г. Р. М.: МАКС Пресс, 2012. 648 с.
3. Широв А. А., Янговский А. А. Опыт разработки инструментария долгосрочного макроэкономического прогнозирования // Научные труды Института народнохозяйственного прогнозирования РАН. Т. 6. 2008. С. 96–110.
4. Широв А. А., Янговский А. А. Межотраслевая макроэкономическая модель RIM — развитие инструментария в современных экономических условиях // Проблемы прогнозирования. 2016. № 6. С. 3–18.
5. Izard W. Interregional and regional input-output analysis: a model of space economy // The Review of Economics and Statistics. 1951. Vol. 33. P. 318–328.
6. Chenery H. The Structure and Growth of the Italian Economy, Regional Analysis / Chenery, H., Clark, P. eds. // United States Mutual Security Agency, Rome. 1953. P. 13–25.
7. Moses L. M. The stability of interregional trading patterns and input-output analysis // American Economic Review. 1955. P. 803–832.
8. McGregor P. G., Swales J. K., Turner K. R. The CO2 'trade balance' between Scotland and the rest of the UK: Performing a multi-region environmental input-output analysis with limited data // Ecological Economics. 2008. Vol. 66. P. 662–672.
9. Turner K. R., Lenzen M., Wiedmann T., Barrett J. Examining the global environmental impact of regional consumption activities-Part1: A technical note on combining input-output and ecological footprint analysis// Ecological Economics. 2007. Vol. 62. P. 37–44.
10. Wiedmann T. A review of recent multi-region input-output models used for consumption-based emission and resource accounting // Ecological Economics. 2009. P. 77–89, doi: 10.1016/j.ecolecon.2009.08.026.
11. Examining the Global Environmental Impact of Regional Consumption Activities. P. 2. Review of input-output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade / Wiedmann T., Lenzen M., Barrett J., Turner K. // Ecological Economics. 2007. Vol. 61(1). P. 15–26.

12. Ha S. J., Hewings G., Turner K. An interregional input-output analysis of the pollution content of trade flows and environmental trade balances between five states in the US Mid-West // STRATHCLYDE, Discussion Papers in Economics. 2010. Vol. 09(20). P. 1–31.
13. Horridge M., Glyn W. The economic impact of a construction project, using, SINO TERM, a multi-region CGE model // Center of Policy Studies, Monash University, General Working Paper. 2007. P. 164.
14. Horridge M., Madden J., Wittwer G. Using a highly disaggregated multi-regional single country model to analyze the impacts of 2002–03 droughts on Australia // Journal of Policy Modeling. 2005. No 27. P. 258–308
15. Гранберг А. Г., Сулов В. И., Суспицын С. А. Многорегиональные системы. Экономико-математическое исследование / СО РАН, ИЭОПП, Гос. НИУ «Совет по изучению производ. сил». Новосибирск : Сиб. науч. изд-во, 2007. 370 с.
16. Баранов А. О., Павлов В. Н., Слепенкова Ю. М. Разработка динамической межотраслевой модели с блоком человеческого капитала // Мир экономики и управления. 2017. Т. 17, № 1. С. 14–25.
17. Гильмундинов В. М. Развитие модели межотраслевого баланса с учетом межотраслевой конкуренции на основе концепции общего равновесия // Вестник НГУ. 2010. Т. 10, вып. 4. С. 5–16. (Социально-экономические науки).
18. Колужнов Д. В. Инвестиции, инновации, экономический рост и монетарная политика в рамках динамических моделей общего экономического равновесия. Постановка проблемы // Инвестиционный процесс и структурная трансформация российской экономики / Под ред. А. В. Алексеева, Л. К. Казанцевой. Новосибирск : Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2020. 402 с. Гл. 13. С. 340–361.
19. Шатилов Н. Ф. Моделирование расширенного воспроизводства. М.: Экономика, 1967. 175 с.
20. Beynon M. J., Munday M., Roberts A. Ranking Sectors Using Fuzzy Output Multipliers // Economic Systems Research. 2005. Vol. 17(3). P. 237–253. <https://doi.org/10.1080/09535310500221716>.
21. Johansen L. A Multi-sectoral Study of Economic Growth. Amsterdam: North-Holland, 1974. 274 p.
22. Kydland F., Prescott E. Time to Build and Aggregate Fluctuations // Econometrica. 1982. Vol. 50, № 6. P. 1345–1370.
23. Lucas R. Econometric policy evaluation: A critique // Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy. 1976. Vol. 1, iss. 1. P. 19–46.
24. Grassini M. Rowing along the computable general equilibrium modelling mainstream // Studies on Russian Economic Development. 2009. Vol. 20, № 2, pp. 134–146.
25. Сулов В. И. Модели пространственной экономики. Генезис, современное состояние, перспективы // Регион. Экономика и социология. 2013. № 2. С. 3–19.
26. Системное моделирование и анализ мезо- и микроэкономических объектов / отв. ред. В. В. Кулешов, Н. И. Сулов; РАН, Сиб. отд-ние, ИЭОПП СО РАН. Новосибирск : ИЭОПП СО РАН, 2014. 487 с.
27. Выявление крупных нефтегазопромысловых объектов на западных склонах Непско-Ботуобинской антеклизы, Присяно-Енисейской синеклизы, Сюнджерской седловины и прилегающих территорий по комплексу геологических, геофизических и гидрогазогеохимических методов: отчет о НИР: ГК № 57 от 11.08.2017 / АО «СНИИГТиМС»; рук. акад. РАН. М. И. Эпов. Новосибирск, 2019. 67 с.
28. Dushenin D., Milyaev D. Automation of the Analysis of the Efficiency of Geological Exploration for Oil and Gas // Geomodel. T. 2018. № 1. С. 1–5.
29. Милев Д. В., Душенин Д. И. Подходы к математическому моделированию трансформации «новых» знаний в коммерческие запасы полезных ископаемых // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2020. № 1. С. 95–100.

References

1. Leontief, W. (1958). *Studies in the Structure of the American Economy: Theoretical and Empirical Explorations in Input-output Analysis*. Moscow: Gosstatizdat, 534. (In Russ.)
2. Almon, C. (2014). *The Craft of Economic Modeling [Iskusstvo ekonomicheskogo modelirovaniya]*. Trans. from English. Moscow: The Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences, MAX Press, 648.
3. Shirov, A. & Yantovsii, A. (2008). On the development of long-term macroeconomic forecasting tools. *Nauchnye trudy: Institut narodnokhozyaystvennogo prognozirovaniya RAN [Scientific Articles — Institute of Economic Forecasting Russian Academy of Sciences]*, 6, 96–110. (In Russ.)
4. Shirov, A. A. & Yantovskii, A. A. (2017). RIM interindustry macroeconomic model: Development of instruments under current economic conditions. *Studies on Russian Economic Development [Problemy prognozirovaniya]*, 28(3), 241–252. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1075700717030121> (In Russ.)
5. Isard, W. (1951) Interregional and regional input-output analysis: a model of space economy. *The Review of Economics and Statistics*, 33, 318–328
6. Chenery, H. (1953). The Structure and Growth of the Italian Economy, Regional Analysis. In: H. B. Chenery, P. G. Clark, V. Cao Pinna (Eds.), *The structure and growth of the Italian economy* (pp. 13–25). United States Mutual Security Agency, Rome.
7. Moses, L. M. (1955). The stability of interregional trading patterns and input-output analysis. *American Economic Review*, 45, 803–832
8. McGregor, P. G., Swales, J. K. & Turner K. R. (2008). The CO2 ‘trade balance’ between Scotland and the rest of the UK: Performing a multi-region environmental input-output analysis with limited data. *Ecological Economics*, 66, 662–672.

9. Turner, K. R., Lenzen, M., Wiedmann, T. & Barrett, J. (2007). Examining the global environmental impact of regional consumption activities — Part 1: A technical note on combining input-output and ecological footprint analysis. *Ecological Economics*, 62, 37–44.
10. Wiedmann, T. (2009). A review of recent multi-region input-output models used for consumption-based emission and resource accounting. *Ecological Economics*, 69(2), 211–222. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2009.08.026. 77–89.
11. Wiedmann, T., Lenzen, M., Barrett, J. & Turner, K. (2007). Examining the Global Environmental Impact of Regional Consumption Activities — Part 2: Review of input-output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade. *Ecological Economics*, 61(1), 15–26.
12. Ha, S. J., Hewings, G. & Turner, K. (2010). An interregional input-output analysis of the pollution content of trade flows and environmental trade balances between five states in the US Mid-West. STRATHCLYDE Discussion Papers in Economics, NO 09–20, 1–31.
13. Horridge, M. & Glyn, W. (2007). *The economic impact of a construction project, using SINO TERM, a multi-regional CGE model of China*. Center of Policy Studies, Monash University, General Working Paper, No. G-164.
14. Horridge, M., Madden, J. & Wittwer, G. (2005). Using a highly disaggregated multi-regional single country model to analyze the impacts of the 2002–03 droughts on Australia. *Journal of Policy Modeling*, 27, 258–308.
15. Granberg, A. G. & Suslov, V. I. (2007). *Mnogoregionalnye sistemy. Ekonomiko-matematicheskoe issledovanie [Multiregional systems: economic and mathematical study]*. Novosibirsk: Sibir scientific publishing house, 370. (In Russ.)
16. Baranov, A. O., Pavlov, V. N. & Slepenskova, Yu. M. (2017). Construction of a Dynamic Input-Output Model with a Human Capital Block. *Mir ekonomiki i upravleniya [World of Economics and Management]*, 17(1), 14–25. (In Russ.)
17. Gilmundinov, V. M. (2010). Developing of input-output model with interbranch competition in general equilibrium concept. *Vestnik NGU. Seriya: sotsialno-ekonomicheskie nauki [Vestnik NSU. Series: Social and Economic Sciences]*, 10(4), 5–16. (In Russ.)
18. Kolyuzhnov, D.V. (2020). Investitsii, innovatsii, ekonomicheskiy rost i monetarnaya politika v ramkakh dinamicheskikh modeley obshchego ekonomicheskogo ravnovesiya. Postanovka problemy [Investment, innovation, economic growth and monetary policy in the framework of dynamic general economic equilibrium models. Statement of the problem]. In: A. V. Alekseev, L. K. Kazantsev (Ed.), *Investitsionnyy protsess i strukturnaya transformatsiya rossiyskoy ekonomiki [Investment process and structural transformation of the Russian economy: monograph]* (pp. 340–361). Novosibirsk: IEIE SB RAS. (In Russ.)
19. Shatilov, N. F. (1967). *Modelirovanie rasshirennogo vosproizvodstva [Modeling of expanded reproduction]*. Moscow: Economics, 175. (In Russ.)
20. Beynon, M., Munday, M. & Roberts, A. (2005). «Ranking Sectors Using Fuzzy Output Multipliers. *Economic Systems Research*, 17(3), 237–253
21. Johansen, L. (1974). *A Multi-sectoral Study of Economic Growth*. North-Holland Publishing Company, 274.
22. Kydland, F. & Prescott, E. (1982). Time to Build and Aggregate Fluctuations. *Econometrica*, 50(6), 1345–1370.
23. Lucas, R. (1976). Econometric policy evaluation: A critique. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 1(1), 19–46.
24. Grassini, M. (2009). Rowing along the computable general equilibrium modelling mainstream. *Studies on Russian Economic Development*, 20(2), 134–146.
25. Suslov, V. I. (2013). Modeling the spatial economy: genesis, current state, and prospects. *Region: ekonomika i sotsiologiya [Region: economics and sociology]*, 2, 3–19. (In Russ.)
26. Kuleshov, V. V. & Suslov, N. I. (Eds.) (2014). *System modeling and analysis of mezo- and microeconomic objects*. Novosibirsk: IEIE SB RAS, 487. (In Russ.)
27. Epov, M. I. (Ed.) (2019). *Vyyavlenie krupnykh neftegazoposkovykh obektov na zapadnykh sklonakh Nepsko-Botuobinskoj anteklizi, Prisayano-Eniseyskoj sineklizi, Syugdzherzskoy sedloviny i prilegayushchikh territoriy po kompleksu geologicheskikh, geofizicheskikh i gidrogeologicheskikh metodov: otchet o NIR: GK № 57 ot 11.08.2017. [Identification of large oil and gas prospecting objects on the western slopes of the Nepa-Botuoba antecline, the Sayan-Yenisei syncline, the Syugdzher saddle and adjacent territories using a complex of geological, geophysical and hydro-gas geochemical methods: research report: GK No. 57 dated 11.08.2017]*. Novosibirsk, 67. (In Russ.)
28. Dushenin, D. & Milyaev, D. (2018). Automation of the Analysis of the Efficiency of Geological Exploration for Oil and Gas. *Geomodel*, 1, 1–5.
29. Milyaev, D. V. & Dushenin, D. I. (2020). Podkhody k matematicheskomu modelirovaniyu transformatsii «novykh» znaniy v kommercheskie zapasy poleznykh iskopaemykh [“New” knowledges into commercial reserves of mineral resources]. *Geologiya i mineralno-syrevye resursy Sibiri [Geology and mineral resources of Siberia]*, 1, 95–100. (In Russ.)

Информация об авторах

Крюков Валерий Анатольевич — академик РАН, доктор экономических наук, профессор, директор, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН; Scopus Author ID 7004906327, Researcher ID H-8725–2015, <https://orcid.org/0000-0002-7315-6044> (Российская Федерация, 630090, г. Новосибирск, пр-т Лаврентьева д. 17, e-mail: valkryukov@mail.ru).

Баранов Александр Олегович — доктор экономических наук, профессор, зам. директора, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН; заведующий кафедрой экономической теории,

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет; Scopus Author ID 7201565132, Researcher ID R-5910–2016, <http://orcid.org/0000-0001-8597-9788> (Российская Федерация, 630090, г. Новосибирск, пр-т Лаврентьева д. 17; 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 2, e-mail: baranov@ieie.nsc.ru).

Павлов Виктор Николаевич — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН; Scopus Author ID 7402575976, <http://orcid.org/0000-0003-3333-4712> (Российская Федерация, 630090, г. Новосибирск, пр-т Лаврентьева, д. 17, e-mail: victor_n_pavlov@mail.ru).

Суслов Виктор Иванович — член корреспондент РАН, доктор экономических наук, профессор, зав. лабораторией, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН; Scopus Author ID 36118380200, Researcher ID U-9415–2019, (Российская Федерация, 630090, г. Новосибирск, пр-т Лаврентьева, д. 17, e-mail: suslov@ieie.nsc.ru).

Суслов Никита Иванович — доктор экономических наук, профессор, зам. директора, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН; профессор, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет; заведующий кафедры региональной и мировой экономики, Новосибирский технический государственный университет; Scopus Author ID 57207775971, Researcher ID E-3102–2018, <http://orcid.org/0000-0001-8899-7906> (Российская Федерация, 630090, г. Новосибирск, пр-т Лаврентьева, д. 17; 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова 2; пр-т Карла Маркса, д. 20; e-mail: nsus@ieie.nsc.ru).

About the Authors

Valery A. Kryukov — Member of RAS, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Director, Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of RAS, Scopus Author ID: 7004906327, Researcher ID: H-8725–2015, <https://orcid.org/0000-0002-7315-6044> (17, Ak. Lavrenteva Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation; e-mail: valkryukov@mail.ru).

Alexandr O. Baranov — Dr. Sci. (Econ.), Professor, Deputy Director, Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of RAS; Head of the Economic Theory Section, Novosibirsk State University; Scopus Author ID: 7201565132, Researcher ID: R-5910–2016, <http://orcid.org/0000-0001-8597-9788> (17, Ak. Lavrenteva Ave., Novosibirsk, 630090; 2, Pirogova St., Novosibirsk, 630090, Russian Federation; e-mail: baranov@ieie.nsc.ru).

Victor N. Pavlov — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Chief Research Associate, Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of RAS; Scopus Author ID: 7402575976, <http://orcid.org/0000-0003-3333-4712> (17, Ak. Lavrenteva Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation; e-mail: victor_n_pavlov@mail.ru).

Victor I. Suslov — Corresponding Member of RAS, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Chief of Laboratory, Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of RAS; Scopus Author ID: 36118380200, Researcher ID: U-9415–2019 (17, Ak. Lavrenteva Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation; e-mail: suslov@ieie.nsc.ru).

Nikita I. Suslov — Dr. Sci. (Econ.), Professor, Deputy Director, Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of RAS; Professor, Economic Theory Section, Novosibirsk State University; Head of the Chair of Regional and Interregional Economics, Novosibirsk State Technical University; Scopus Author ID: 57207775971, Researcher ID: E-3102–2018, <http://orcid.org/0000-0001-8899-7906> (17, Ak. Lavrenteva Ave., Novosibirsk, 630090; 2, Pirogova St., Novosibirsk, 630090; 20/4, Karla Marksa St., Novosibirsk, 630073, Russian Federation; e-mail: nsus@ieie.nsc.ru).

Дата поступления рукописи: 08.06.2020.

Прошла рецензирование: 23.08.2020.

Принято решение о публикации: 15.09.2020.

Received: 08 Jun 2020.

Reviewed: 23 Aug 2020.

Accepted: 15 Sep 2020.